

## **Aplikasi Kontrol *Proportional Plus Integral* Pada Pengaturan Kadar Oksigen (*Dissolved Oxygen*) Akuarium**

Bagus Hakiki Tirtowiyadi (L2F 305 298)  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Email : bagushakiki@plasa.com

**Abstrak**-Indonesia dengan 3.288.683 km<sup>2</sup> lautannya cukup kaya untuk menghasilkan produksi ikan. Salah satunya adalah Ikan Kerapu atau yang lazim disebut dengan nama Grouper. Ikan jenis ini banyak dikonsumsi oleh beberapa kalangan karena rasanya yang lezat dan gurih. Ikan Kerapu mempunyai sifat hidup yang demersal (hidup di dasar lautan), sehingga menghasilkan banyak lemak di dalam tubuhnya. Ikan yang mengandung banyak lemak terasa lebih gurih dan enak untuk dimakan.

Ikan Kerapu membutuhkan beberapa faktor penentu agar dapat hidup dan berkembang biak. Faktor tersebut adalah tingkat salinitas (kadar garam), suhu, derajat keasaman / pH, aliran arus, dan kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*).

Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan dan pembuatan alat pengatur kadar oksigen pada akuarium air laut dengan menggunakan metode pengaturan PI digital dengan mikrokontroller AT89S51 sebagai pengolah data. Alat ini menghasilkan gelembung udara yang mengandung oksigen pada akuarium secara perlahan namun kontinyu yang dialirkan oleh motor pada aerator sehingga kadar oksigen pada akuarium yang menyerupai kondisi pada perairan laut. Besarnya range pengukuran adalah 0 – 9,9 ppm dan range pengaturan sebesar 4 – 5 ppm.

Dari hasil pengujian sistem pengaturan kadar oksigen menggunakan kontrol PI (*Proportional Integral*) pada setting point 4,5 ppm diperoleh respon sistem dengan amplitudo osilasi kurang lebih 0,5 ppm.

### **I. PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi elektronika digital telah membuat pemakaian mikrokontroller semakin luas. Banyaknya aplikasi yang berhubungan dengannya telah menjadi tantangan tersendiri bagi setiap insan untuk mencobanya.

Dalam Tugas Akhir ini, aplikasi pembuatan sistem kontrol tersebut menggunakan Mikrokontroller AT89S51 buatan Atmel sebagai otak kerja sistem. Pengaturan Kadar Oksigen digunakan untuk memenuhi salah satu unsur bagi pengembangbiakan Ikan Kerapu, disamping tingkat salinitas, level arus, kadar pH dan perubahan temperatur. Pada habitatnya, Ikan Kerapu biasa dipelihara di dalam Keramba Jaring Apung dan perairan tambak. Namun pengembangbiakan di dalam Keramba Jaring Apung (KJA) lebih umum diterapkan, disebabkan tidak banyak membutuhkan lahan. Untuk menggantikan pemeliharaan di perairan tambak dan keramba jaring apung, penulis coba untuk menerapkan sistem pemeliharaannya di perairan darat dengan media akuarium.

Pada Tugas Akhir ini perancangan sistem pengaturan kadar oksigen adalah dengan mengatur putaran motor aerator / pompa oksigen.

#### **1.2 Maksud dan Tujuan Tugas Akhir**

Maksud dan Tujuan Tugas Akhir ini adalah membuat suatu perancangan sistem pengaturan kadar oksigen yang sesuai dengan habitat asli Ikan Kerapu.

#### **1.3 Batasan Masalah**

Pembahasan dalam tugas akhir ini dibatasi oleh :

1. Penurunan kadar oksigen dilakukan dengan menambahkan larutan garam pada akuarium.
2. Level pengaturan kadar oksigen adalah 4 - 5 ppm (part per million) dan 0 - 9,9 ppm untuk level pengukuran.
3. Tidak membahas proses reaksi kimia yang terjadi pada sensor termasuk rangkaian DO (*Dissolved Oxygen*) meter.
4. Tidak memperhitungkan perubahan suhu pada akuarium.
5. Tidak melakukan identifikasi sistem.
6. Sensor hanya ditempatkan pada satu posisi.

### **II. DASAR TEORI**

#### **2.1 Ikan Kerapu (*Grouper*)<sup>[3],[4],[13],[14]</sup>**

Ikan Kerapu hidup di perairan berbatu sampai kedalaman 60 meter dan pada daerah dangkal yang mengandung batu kecil. Siklus hidup ikan ini berada di perairan dangkal karang pada kedalaman 0,5 – 3 meter di padang lamun (dasar lautan yang tidak terdapat karang dan batu-batuan). Ikan Kerapu mengandung banyak lemak pada bagian tubuhnya, dan biasanya ikan yang mengandung banyak lemak terasa lebih gurih dan enak untuk dimakan.

Ditinjau dari kebiasaan makan, ikan ini termasuk jenis karnivora, dimana ikan ini suka memakan ikan-ikan kecil, kepiting, dan udang-udangan. Ikan Kerapu tersebar luas dari wilayah Asia Pasifik termasuk laut Merah, tetapi lebih dikenal dari Teluk Persia, Hawaii, dan Polynesia. Terdapat pula di hampir semua perairan-perairan pulau tropis Hindia, Samudera Pasifik Barat dan Pantai Timur Afrika sampai dengan Mozambik. Ikan ini ditemukan pula di daerah Madagaskar, India, Thailand, Indonesia, pantai tropis Australia, Jepang,

Filipina, Papua Nugini dan Kaledonia Baru. Di Indonesia Ikan ini terdapat di daerah perairan Pulau Sumatera, Jawa, Sulawesi, Pulau Buru, dan Ambon.

## 2.2 Kadar Oksigen (*Dissolved Oxygen*)<sup>[15],[16]</sup>

Kadar Oksigen diukur menurut satuan ppm (*part per million*). Kadar oksigen dibawah 2 ppm atau lebih rendah dapat menyebabkan makhluk hidup di laut menjadi stress dan mati. Namun beberapa makhluk hidup, seperti tiram, dapat bertahan hidup pada kadar oksigen yang rendah untuk beberapa hari (1 ppm untuk 5 hari). Oksigen merupakan unsur yang dapat dengan cepat berubah di dalam air walaupun kadarnya lebih kecil bila dibandingkan di udara. Pada air laut, oksigen masuk ke dalam air melalui proses fotosintesis dan penyerapan dari udara seperti gerakan gelombang air maupun perputaran arus air.

## 2.3 Sensor<sup>[12]</sup>

Sensor merupakan sebuah alat yang jika digerakkan oleh energi di dalam sebuah sistem transmisi akan menyalurkan dalam bentuk energi yang sama atau berlainan ke dalam sistem transmisi yang kedua.

### 2.3.1 Sensor *Dissolved Oxygen*<sup>[17]</sup>

Terdapat dua sensor di dalam pengukuran kadar oksigen, yaitu :

1. Sensor Galvanik
2. Sensor Polarografik

Kedua sensor menggunakan sistem elektroda dimana kadar oksigen bereaksi dengan katoda untuk menghasilkan arus listrik. Jika sensor tidak memerlukan tegangan dari luar sistem maka disebut *Sensor Galvanik*. Sebaliknya, jika sensor tersebut membutuhkan tegangan dari luar sistem maka disebut *Sensor Polarografik*. Sensor Galvanik lebih stabil dan lebih akurat untuk mengukur kadar oksigen yang rendah dibandingkan dengan Sensor Polarografik.

## 2.4 Mikrokontroler AT89S51<sup>[1],[7],[9],[11]</sup>

Mikrokontroler AT89S51 adalah sebuah chip mikrokomputer 8 bit yang mempunyai 4 Kbyte memory program jenis *flash* atau disebut *Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (PEROM)*, RAM 128 byte, 32 jalur input – output (I/O), 2 *Timer/Counter* 16 bit, 5 vektor interupsi, port serial dua arah, rangkaian detak (*clock*) dan osilator internal. Dengan fasilitas tersebut menjadikan AT89S51 sebagai mikrokomputer yang sangat populer, berdaya guna yang dapat memberikan solusi paling efektif, murah dan sangat fleksibel untuk aplikasi-aplikasi pengontrolan.

Mikrokontoller AT89S51 menyediakan 5 sumber interupsi yaitu: interupsi eksternal (*External interupt*) yang berasal dari pin  $\overline{INT0}$  dan  $\overline{INT1}$ , interupsi timer yang berasal dari timer 0 maupun timer 1, dan yang terakhir adalah interupsi port seri yang berasal dari bagian penerima dan pengirim port seri.

## 2.5 Spesifikasi Respon Transien<sup>[5],[6]</sup>

Respon transien suatu sistem tiap masukan unit-step tergantung pada kondisi awal. Pada saat yang tepat dalam perbandingan respon transien untuk beberapa sistem kontrol, alangkah praktisnya menggunakan inisialisasi standar dimana sistem dalam kondisi istirahat dengan keluaran dan semua penurunan waktu menunjukkan nol.

Dalam aplikasinya respon transient akan mengalami osilasi sebelum mencapai keadaan tunak (*steady state*). Karakteristik respon transient suatu sistem kontrol dengan masukan unit-step, akan tergantung pada :

1. *Delay time* / Waktu tunda ( $t_d$ )
2. *Rise time* / Waktu naik ( $t_r$ )
3. *Peak time* / Waktu puncak ( $t_p$ )
4. *Maximum overshoot* / Lewatan maksimum ( $M_p$ )
5. *Settling time* / Waktu penetapan ( $t_s$ )

## 2.6 Aksi Kontrol *Proportional plus Integral*<sup>[5],[6]</sup>

Aksi kontrol dari kontroler *Proportional plus Integral* didefinisikan dengan persamaan 2-1.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2-1)$$

sehingga fungsi alih kontroler-nya adalah:

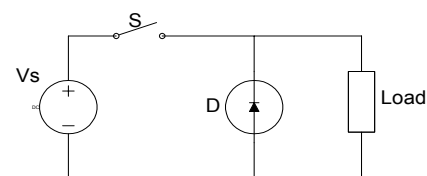
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2-2)$$

dimana  $K_p$  menyatakan kepekaan proporsional atau penguatan, dan  $T_i$  menyatakan waktu integral.

Dengan digabungkannya aksi kontrol integral dan aksi kontrol proporsional, maka kesalahan keadaan tunak atau *offset* yang disebabkan oleh aksi kontrol proporsional dapat dihilangkan oleh aksi kontrol integral. Dan memang inilah maksud utama penggunaan 2 aksi kontrol ini, dimana keduanya dapat saling memperbaiki sehingga kelemahan pada salah satu aksi kontrol dapat dihilangkan oleh aksi kontrol yang lain.

## 2.7 DC Chopper<sup>[8]</sup>

Suatu rangkaian DC Chopper dengan beban *load* ditunjukkan pada gambar 2.1. Rangkaian DC Chopper terdiri dari tegangan catu daya  $V_s$ , pengaturan switch  $S$ , dioda  $D$  dan beban *load*. Dalam fungsinya switch  $S$  mempunyai kemampuan untuk menghalangi konduksi tegangan dan arus dari sumber tegangan  $V_s$ . Pada Tugas Akhir ini peranan switch  $S$  digantikan oleh transistor MJ 2955. Bila suatu dioda  $D$  diparalelkan terhadap sumber  $V_s$ , maka konduksi arus yang berasal dari beban *load* tidak akan masuk ke rangkaian.



Gambar 2.1 Rangkaian DC Chopper

Switch  $S$  akan mulai beroperasi ketika suatu *duty cycle*  $D$  merupakan perbandingan tegangan saat waktu *on* dengan jumlah antara waktu *on* dan *off*. Secara umum persamaan tersebut digambarkan sebagai berikut:

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.3)$$

dimana:

$D$  = duty cycle (s)

$t_{on}$  = waktu saat beban *load* hidup (s)

$t_{off}$  = waktu saat beban *load* tidak hidup (s)

$T$  = waktu dalam 1 periode (s)

Dari periode waktu  $T$  jika dikaitkan dengan frekuensi maka akan membentuk persamaan  $T = \frac{1}{f}$ ,

dimana  $f$  merupakan frekuensi proses switching dalam 1 periode. Untuk itu dapat dibuat suatu hubungan antara tegangan input  $V_s$  dengan tegangan output  $V_o$ .

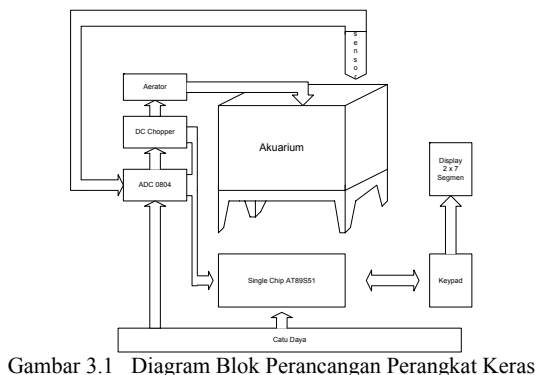
$$V_o = D V_s \quad (2.4)$$

Dari persamaan 2.4 terlihat bahwa besarnya tegangan output  $V_o$  dapat diatur dengan mengubah nilai duty cycle  $D$ . Besarnya tegangan output  $V_o$  rata-rata akan selalu lebih kecil dari tegangan input  $V_s$ . Dalam penerapannya beban *load* akan selalu dikombinasikan dengan beban resistif  $R$ , beban induktif  $L$ , dan sumber tegangan. Untuk membentuk suatu aliran arus pada beban *load*, maka setelah sumber tegangan  $V_s$  dipasang dioda  $D$  paralel. Hal ini untuk mencegah arus yang masuk ke rangkaian saat beban *load* dihidupkan.

### III. PERANCANGAN ALAT

#### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras secara keseluruhan digambarkan pada gambar 3.1. Besarnya kadar oksigen diatur melalui aerator dengan mengatur besarnya tegangan DC.



Gambar 3.1 Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras

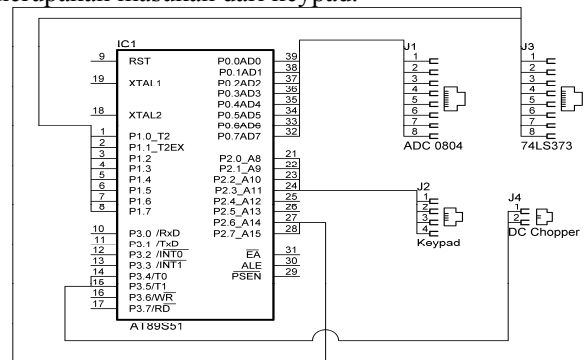
##### 3.1.1 Plant Sistem Akuarium

Plant yang digunakan dalam perancangan perangkat keras ini adalah akuarium air laut dengan ukuran 99 x 50 x 50 cm. Dalam plant ini terjadi dua proses, yaitu pengaturan dan pengukuran kadar oksigen. Untuk proses pengaturan terjadi penambahan kadar melalui hidupnya aerator (pompa oksigen) dan

pengurangan kadar oksigen dengan cara mematikan aerator yang sebelumnya telah dilakukan pemberian garam didasar akuarium, karena kenaikan kadar garam dapat membantu penurunan kadar oksigen. Proses menghidupkan dan mematikan aerator adalah dengan cara memberikan logika 0 dan 1 pada port 3.4 mikrokontroler AT89S51, dimana pada port ini berfungsi sebagai *ground* pada rangkaian DC Chopper. Sedangkan pada kutub positifnya telah dihubungkan langsung pada catu daya 12 V, sehingga saat logika 0 diberikan maka aerator akan hidup dan pada logika 1 yang diberikan maka aerator akan mati.

#### 3.1.2 Sistem Minimum Mikrokontroler AT89S51

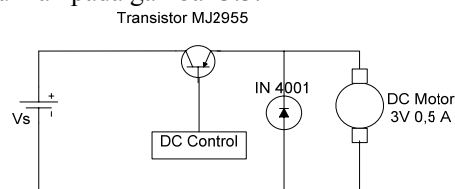
Di dalam sistem minimum terdapat mikrokontroler AT89S51, yang mempunyai 4 buah port dan masing-masing portnya mempunyai 8 jalur input dan output. Dalam perancangan ini port 0 menerima masukan dari rangkaian ADC 0804, port 1 berfungsi sebagai output ke rangkaian penahan alamat (*address latch*) 74LS373, port 3 memberikan input kontrol bagi rangkaian DC Chopper, dan port 2 merupakan masukan dari keypad.



Gambar 3.2 Penggunaan port-port pada Mikrokontroler AT89S51

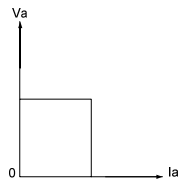
#### 3.1.3 Rangkaian DC Chopper

Rangkaian DC Chopper digunakan sebagai driver motor DC setelah mendapat pemicuan dari Mikrokontroler AT89S51. Dalam aplikasinya DC Chopper dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tetap 12 V. Jenis DC Chopper yang digunakan adalah DC Chopper Pengaturan Daya dengan menggunakan transistor MJ2955. Transistor jenis ini merupakan transistor PNP dengan kekuatan 115 watt dan arus 4 A. Dalam fungsinya sebagai switch Rangkaian DC Chopper, transistor MJ2955 akan aktif low jika diberi logika 0 dari Mikrokontroler AT89S51. Gambar Rangkaian DC Chopper dengan Transistor MJ2955 ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian DC Chopper

Selama proses pengaturan, kurva perbandingan antara tegangan dan arus berada di kuadran pertama sumbu koordinat. Hal ini ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kurva perbandingan tegangan dan arus

Prinsip kerja On dan Off Transistor MJ2955 diatur melalui pemberian logika 0 dan 1 oleh mikrokontroller (port 3.4). Pada rangkaian DC Chopper, Port 3.4 berfungsi sebagai *ground* sehingga apabila pada port tersebut diberi logika 0 maka motor akan on dan jika logika 1 yang diberikan maka motor akan off. Pemberian logika 0 dilakukan berdasarkan waktu tunda dari grafik siklus penuh antara kurva tegangan dan waktu. Sehingga dalam satu perioda akan dapat diketahui nilai *duty cycle* yang terjadi selama proses pemecutan dari mikrokontroller. Dari nilai *duty cycle* akan dapat dihitung nilai tegangan output rangkaian DC Chopper yang merupakan input dari motor DC, karena besarnya tegangan output adalah :

$$V_o = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} V_i \quad (3.1)$$

dengan :

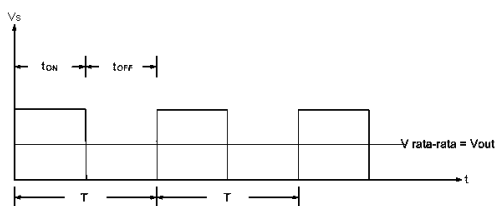
$V_o$  = tegangan output (Volt)

$t_{on}$  = waktu pemecutan (sekon)

$t_{off}$  = waktu berhenti pemecutan (sekon)

$V_i$  = tegangan input (Volt)

Kurva *duty cycle* selama proses pemberian logika 0 dan 1 ditunjukkan pada gambar 3.5:

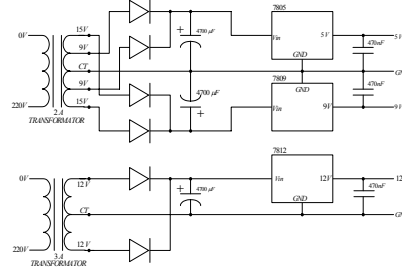


Gambar 3.5 Kurva *duty cycle* selama pengaturan motor DC

### 3.1.4 Rangkaian Catu Daya

Rangkaian catu daya digunakan untuk menyuplai tiap-tiap rangkaian. Besarnya tegangan untuk rangkaian Sistem Minimum AT89S51, rangkaian ADC 0804, dan rangkaian driver seven segmen (IC *address latch* 74LS373) adalah 5V. Tegangan 9V digunakan sebagai catu daya sensor. Catu daya ini mempunyai arus 3,5 mA sehingga digunakan transformator tersendiri agar arus yang masuk ke sensor besarnya tetap 3,5 mA. Sementara untuk Rangkaian DC Chopper dan pompa oksigen / aerator digunakan catu daya sebesar 12 V. Dikarenakan motor DC yang berada

di dalam aerator hanya membutuhkan arus sebesar 0,5 mA maka untuk rangkaian catu dayanya dibuatkan rangkaian tersendiri agar arus yang menyuplai motor besarnya tetap 0,5 mA.



Gambar 3.6 Rangkaian Catu Daya 5 V, 9 V, dan 12 V

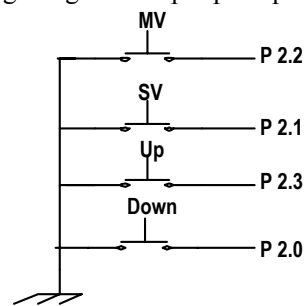
### 3.1.5 Aerator / Pompa Oksigen

Aerator adalah pompa oksigen yang digunakan untuk menambah jumlah kadar oksigen tiap ppm-nya. Konstruksi dari aerator terdiri atas sebuah catu daya dan sebuah motor DC 0,5 mA. Catu daya aerator bervariasi antara 0 - 12 Volt. Catu daya ini didapat dari pengaturan *duty cycle* rangkaian DC Chopper yang merupakan input bagi aerator.

### 3.1.6 Rangkaian Keypad

Rangkaian Keypad digunakan sebagai tombol. Tombol-tombol ini berbentuk lingkaran yang berfungsi sebagai switch. Jika tombol ini ditekan maka salah satu hubungan antar kakinya akan on. Sebaliknya jika tombol dilepas maka salah satu hubungan antar kakinya akan berada dalam kondisi off. Kondisi semacam inilah yang digunakan untuk menghubungkan input masukan dengan aksi pengaturan pada mikrokontroller.

Dalam perancangan Tugas Akhir ini terdiri dari 4 buah tombol, dan masing-masing tombol terdiri dari tombol MV (*Measurement Value* / tombol untuk memberi masukan pada proses pengukuran), SV (*Setting Value* / tombol untuk memberi masukan pada proses pengaturan), Up (tombol untuk menambah nilai input pada proses pengaturan), dan Down (tombol untuk mengurangi nilai input pada proses pengaturan).



Gambar 3.7 Rangkaian Keypad

Penggunaan untuk masing-masing tombol adalah :

- Tombol MV menghubungkan antara Port 2.2 dengan ground.
- Tombol SV menghubungkan antara Port 2.1 dengan ground.
- Tombol Up menghubungkan antara Port 2.3 dengan ground.

- Tombol Down menghubungkan antara Port 2.0 dengan ground.

### 3.1.7 Sensor Oksigen

Sensor adalah sebuah alat yang jika digerakkan oleh energi yang berada di dalam sebuah sistem transmisi dapat menyalurkan energi dalam bentuk yang sama atau berlainan ke dalam sistem transmisi yang kedua.

Dalam perancangan Tugas Akhir ini digunakan sensor oksigen yang telah menyatu dengan rangkaian *Dissolved Oxygen* meter. Rangkaian ini membutuhkan tegangan 9 V sebagai catu daya.

Elektroda sensor terdiri dari katoda dan anoda yang akan bereaksi ketika sejumlah oksigen masuk ke dalam larutan elektrolit setelah melewati diafragma. Reaksi tersebut menghasilkan arus listrik yang selanjutnya mengalir melalui thermistor. Dari termistor inilah tegangan akan muncul yang selanjutnya berfungsi sebagai output sensor.

### 3.1.8 Rangkaian ADC

Rangkaian ADC adalah rangkaian yang mengubah bentuk keluaran sinyal analog menjadi digital. Dikarenakan keluaran sinyal yang berasal dari sensor masih berbentuk analog, maka sebelum sinyal ini masuk ke mikrokontroler harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam bentuk digital. Sinyal keluaran tersebut besarnya 4,5 V – 4,7 V.

#### 3.1.8.1 ADC 0804

IC ADC 0804 merupakan pengubah analog ke digital CMOS 8 bit. Beberapa karakteristik penting dari ADC 0804 adalah:

- Mempunyai dua masukan analog yaitu:  $V_{IN(+)} - V_{IN(-)}$  sehingga masukan analognya merupakan masukan diferensial. Masukan analog aktualnya adalah  $V_{IN} = V_{IN(+)} - V_{IN(-)}$ .
- Mengkonversikan masukan tegangan analog menjadi keluaran digital 8 bit dan range masukan analognya adalah 0 sampai 5V.
- Mempunyai rangkaian clock internal yang dapat menghasilkan frekuensi clock sebesar  $f = 1/(1.1 RC)$ , dimana R dan C adalah nilai komponen eksternal yang harus dihubungkan. Frekuensi clock tipikalnya adalah 640 KHz dengan  $R = 10 \text{ KOhm}$  dan  $C = 150 \text{ pF}$ . Namun dapat juga digunakan sinyal clock eksternal.
- Dengan frekuensi clock 640 KHz waktu konversinya sekitar 100  $\mu\text{S}$ .

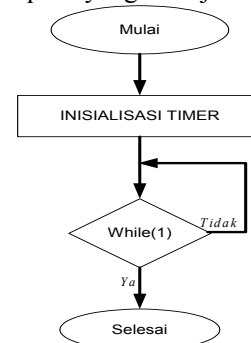
### 3.1.9 Display 2x7 Segmen

Untuk menampilkan akuisisi data dan perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan oleh mikrokontroler, selanjutnya data yang telah dikonversi oleh rangkaian ADC 0804 dan diolah oleh mikrokontroler akan ditampilkan pada display 2x7 segmen. Display 2x7 segmen ini bekerja dengan

rangkaiannya 74LS373 sebagai penahan atau penyangga data. Pada rangkaian display ini menggunakan 2 buah *seven segment common anoda* ( $V_{cc} = 5V$ ) dan dua buah led sebagai indikator *measurement value* dan *setting value*.

### 3.2 Perancangan Program Pengaturan Kadar Oksigen

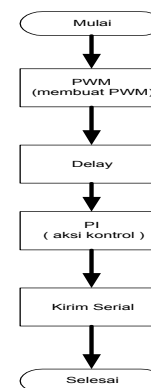
Pada tugas akhir ini perancangan program untuk pengaturan ppm Oksigen ini memiliki *flowchart* pada program utama seperti yang ditunjukkan Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Flowchart Program utama

Pada pemograman ini program utama hanya digunakan sebagai inisialisasi program timer. Timer 0 digunakan untuk mengaktifkan interup setiap setiap 767  $\mu\text{detik}$ , sedangkan timer dua digunakan untuk membangkitkan baudrate 9600 Kbps.

Sedangkan prosedur yang digunakan untuk mengatur, menghitung, menampilkan dan mengambil data akan dipanggil melalui program interup timer 0, Flowchart program interup timer 0 dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Flowchart intrup timer 0

Pada Gambar 3.9 dapat dilihat bahwa setiap 767  $\mu\text{detik}$  setiap prosedur dipanggil untuk diproses lebih lanjut.

Prosedur Pulse Wide Modulation atau PWM digunakan untuk menghasilkan pulsa dengan lebar pulsa sebesar 76,7 milidetik, pada prosedur ini lebar pulsa hidup maupun mati akan sesuai dengan aksi kontrol.

Prosedure delay digunakan untuk memanggil prosedur lain yang kecepatan pengambilannya di bawah kecepatan interup timer 0. Prosedur yang dipanggil antara lain prosedur pengambilan data melewati ADC, penampilan pada seven segmen, dan mendeckeksi tombol yang ditekan.

Pengambilan adc dilakukan dengan cara menjumlahkan 10 data dan kemudian membaginya dengan 10 sehingga didapatkan hasil rata rata dari hasil ADC, hal ini dikarenakan sensor dari adc mengeluarkan tegangan DC dengan tegangan ripple yang cukup besar dan bila sensor diberi filter berupa kapasitor, sensor akan tidak bisa membaca oksigen yang terlarut (tegangan akan turun).

Sedangkan prosedur untuk menampilkan seven segmen berada di *prosedure* "segmen", di dalam prosedur ini data sevensegmen dikirim dari port 1 dan dilatch dengan P2.7 untuk puluhan dan P2.6 latch satuan.

#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

##### 4.1 Pengujian Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras dilakukan untuk mengetahui apakah perangkat keras yang telah dirancang dapat bekerja atau berfungsi dengan baik sebagaimana yang diinginkan. Pengujian yang dilakukan terhadap perangkat keras meliputi beberapa blok rangkaian perangkat keras yang telah dirancang dan juga pengujian terhadap gabungan dari beberapa blok rangkaian.

##### 4.1.1 Pengujian Rangkaian ADC

Sesuai dengan rancangan pada rangkaian ADC Gambar 3.9, agar didapatkan resolusi ADC sebesar 10 mV maka  $V_{ref}$  sebesar 2,5 Volt, sehingga pin tegangan referensi ( $V_{ref}/2$ ) untuk ADC diberi tegangan sebesar 1,25 Volt sedangkan tegangan masukan  $V_{IN(-)}$  diberi tegangan sebesar 4,5 Volt. Masukan tegangan  $V_{IN(+)}$  untuk ADC berasal dari sumber tegangan variabel, sehingga nilai  $V_{in(+)}$  dapat diubah-ubah. Sistem mikrokontroller digunakan untuk mengatur kerja ADC. Untuk mengamati hasil konversi ke nilai digital dari setiap tegangan analog pada masukan  $V_{in(+)}$ , maka hasil konversi ADC yang diterima oleh mikrokontroller digunakan untuk mengaktifkan rangkaian Led 8 bit, aktif *low* yang dihubungkan melalui port 0.

Pada proses pengujian rangkaian ADC ini, proses pembacaan ADC dilakukan secara periodik yaitu setiap 1,5 milidetik. Hasil pengujian rangkaian ADC dapat dilihat pada Tabel 4.1. Oleh karena masukan  $V_{Ref}/2$  adalah sebesar 1,25 Volt, maka nilai digital (biner) hasil konversi akan berubah satu bit setiap terjadi perubahan masukan analog  $V_{IN(+)}$  sebesar  $(0,64 V \times 2) / 2^8 = 10 \text{ mV}$ . Dalam penerapannya, masukan analog untuk ADC adalah berasal dari keluaran sensor.

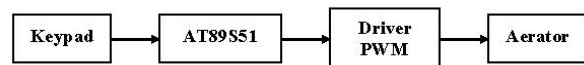
Tabel 4.1 Hasil pengujian rangkaian ADC

Masukan Analog $V_{IN(+)}$	Nilai Digital Hasil Konversi	
	Biner	Heksadesimal
4,511 V	00000000	00
4,657 V	00010000	10
4,815 V	00100000	20
4,976 V	00110000	30
5,138 V	01000000	40
5,287 V	01010000	50
5,489 V	01100000	60
5,611 V	01110000	70
5,770 V	10000000	80
5,924 V	10010000	90
6,075 V	10100000	A0
6,261 V	10110000	B0
6,410 V	11000000	C0
6,566 V	11010000	D0
6,732 V	11100000	E0
6,875 V	11110000	F0
7,018 V	11111111	FD

##### 4.1.2 Pengujian Rangkaian Pengontrol Aerator (Driver Aerator)

Untuk melakukan pengontrolan aerator, digunakan prinsip kerja pengaturan kecepatan putar motor dc dengan PWM. Dalam pengujiannya diperlukan sistem mikrokontroller AT89S51, keypad sebagai input dan aerator sebagai output yang dikontrol.

Blok diagram rangkaian untuk pengujian driver aerator ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pengamatan dilakukan dengan osiloskop terhadap sinyal output dari driver PWM (tegangan yang masuk ke beban).



Gambar 4.1 Pengujian driver Aerator

Hasil pengujian untuk beberapa variasi duty cycle dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa semakin besar duty cycle, maka tegangan output driver PWM akan semakin tinggi. Hal ini akan mengakibatkan kecepatan putar motor pada aerator akan semakin cepat. Akibatnya udara yang dipompakan akan semakin banyak dan kadar oksigen akan semakin tinggi.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Driver Aerator

Duty Cycle (%)	Tegangan Output (volt)	Kadar Oksigen (ppm)
65	0,38	4,0 – 4,4
70	0,52	4,4 – 4,8
75	0,66	4,8 – 5,2
80	1,04	5,1 – 5,3
85	1,34	5,2 – 5,4
90	1,63	5,4 – 5,6
95	2,15	5,5 – 5,6
100	2,52	5,5 – 5,8

## 4.2 Pengujian Perangkat Lunak

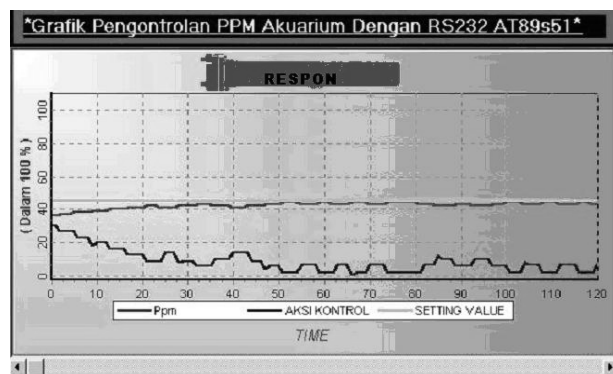
Untuk pengujian perangkat lunak hanya dilakukan untuk subrutin-subrutin yang membutuhkan masukan dari perangkat keras, dan juga memberikan keluaran ke perangkat keras, yaitu sub rutin untuk proses menampilkan besarnya kadar oksigen, sub rutin untuk mengatur *setting value* dan sub rutin untuk menampilkan proses *value*, maka untuk proses pengujiannya dilakukan dengan cara menghubungkan mikrokontroller AT89S51 ke perangkat keras yang bersangkutan. Hasil pengujian dapat dilihat pada seven segmen (unit display) sehingga dapat diperiksa apakah hasil ini telah sesuai dengan yang diinginkan.

## 4.3 Pengujian dan Analisa Respon Sistem

Untuk mengetahui performansi dari sistem pengaturan yang telah dirancang, maka dilakukan pengujian terhadap respon sistem. Hasil dari pengujian respon sistem adalah besarnya kadar oksigen dalam air yang ditampilkan oleh unit display. Unit display yang terdiri dari 2 buah seven segment akan menampilkan besarnya oksigen (dalam ppm) sebagai hasil pengukuran sensor untuk setiap periode waktu sampling yaitu setiap 1,5 detik. Selain itu, display juga dapat menampilkan besarnya nilai *setting value* (SV) yang menjadi acuan dalam proses pengaturan kadar oksigen. Dalam sistem ini, SV yang diinginkan adalah 4,5 ppm.

### 4.3.1 Respon Sistem untuk *Setting Value* = 4,5 ppm

Untuk mengetahui respon sistem dalam mengatur kecepatan aliran air, maka SV diatur pada nilai 4,5 ppm. Untuk itu digunakan  $K_p = 7$  dan  $K_i = 2$ . Penentuan konstanta  $K_p$  dan  $K_i$  dilakukan langsung melalui software. Dengan demikian, nilai kedua konstanta ini tidak bisa diubah, kecuali dilakukan proses download program lagi. Dari hasil pengujian sistem selama 120 detik dihasilkan grafik respon sistem yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik respon sistem dengan *setting value* = 4,5 ppm

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pengesetan SV sebesar 4,5 ppm mengakibatkan sistem akan melakukan aksi kontrol PI sehingga dihasilkan nilai PV di sekitar nilai SV. Dengan demikian secara umum sistem telah menghasilkan aksi pengontrolan yang

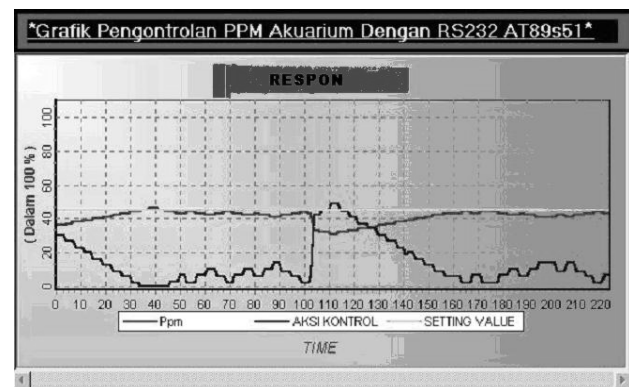
cukup baik meskipun masih terjadi beberapa osilasi. Dalam keadaan stabil, respon sistem berosilasi sebesar kurang lebih 0,5 ppm. Osilasi ini terjadi karena beberapa faktor yang mempengaruhi aksi kontrol PI.

Faktor yang paling berpengaruh terhadap hasil aksi kontrol adalah akurasi sensor yang digunakan sebagai input dalam proses pengontrolan selanjutnya. Hal ini dikarenakan pada proses pengontrolan berumpan balik, hasil pengukuran dari sensor akan mempengaruhi aksi kontrol selanjutnya. Dengan tidak akuratnya hasil pengukuran sensor akan mengakibatkan aksi kontrol yang terjadi sulit untuk mencapai titik kestabilan. Beberapa penyebab kurang akuratnya pengukuran sensor disebabkan karena setiap perubahan letak sensor dalam akuarium akan mengakibatkan hasil pengukuran mengalami perubahan. Selain itu output yang dihasilkan oleh sensor adalah berupa sinyal AC yang terpotong. Dengan demikian tegangan yang terukur oleh ADC adalah berupa tegangan AC yang terpotong. Hal ini mengakibatkan hasil konversi yang dilakukan oleh ADC tidak stabil.

Dengan tidak stabilnya nilai hasil konversi dari ADC yang nantinya akan dijadikan sebagai nilai PV, akan mempengaruhi aksi kontrol yang ada karena aksi kontrol terkait erat dengan pembacaan sensor yang nantinya akan dijadikan acuan nilai *Error* pada aksi kontrol PI.

### 4.3.2 Respon Sistem terhadap Gangguan

Pengujian dilakukan dengan memberikan gangguan berupa larutan garam pekat sehingga dapat mengganggu kestabilan sistem. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kestabilan sistem terhadap gangguan untuk mendapatkan sistem yang handal. Dengan adanya gangguan ini maka sistem akan mengalami ketidakstabilan selama beberapa saat, sampai sistem akan merespon gangguan tersebut dan melakukan aksi kontrol sehingga kestabilan baru akan tercapai.



Gambar 4.3 Grafik respon sistem terhadap gangguan

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa mula-mula sistem melakukan aksi kontrol untuk mencapai kestabilan pada nilai SV = 4,5 ppm. Setelah mencapai kestabilan, diberikan gangguan berupa penambahan larutan garam pekat, sehingga kestabilan sistem

terganggu. Selanjutnya sistem akan melakukan aksi kontrol untuk mencapai kestabilan yang diinginkan, yaitu  $SV = 4,5$  ppm. Secara umum, sistem dapat merespon gangguan yang ada kemudian melakukan aksi kontrol untuk mencapai kestabilan.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada pengujian dan analisa yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian sistem pengaturan kadar oksigen yang dirancang diperoleh respon sistem dengan amplitudo osilasi kurang lebih 0,5 ppm.
2. Besarnya kadar oksigen dipengaruhi oleh besarnya suhu dan kadar garam.
3. Kesalahan dalam proses pembacaan sensor disebabkan setiap perubahan letak sensor mengakibatkan perubahan besarnya kadar oksigen. Selain itu sinyal yang dijadikan input ADC adalah sinyal AC yang terpotong.
4. Dengan melakukan pengaturan kecepatan putar motor pada aerator dapat dilakukan pengaturan terhadap kadar oksigen sesuai dengan yang kita inginkan.

### 5.2 Saran

Beberapa hal yang dapat disarankan dari pelaksanaan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk memperoleh respon sistem yang lebih baik lagi, maka dapat dicoba dengan:
  - Menggunakan aksi kontrol yang lain seperti aksi kontrol fuzzy, kontrol adaptif, dll.
  - Menggunakan aksi kontrol gabungan (*hybrid*) sehingga didapatkan respon sistem yang lebih baik.
2. Untuk memperoleh sistem pengaturan yang lebih stabil dapat digunakan sensor kadar oksigen yang lebih akurat dan stabil.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Agfianto Eko Putra, *Belajar Mikrokontroler AT89C51 (Teori dan Aplikasi)*, Penerbit Gava Media, Yogyakarta, 2002.
2. Curtis D. Johnson, *Process Control Instrumentation Technology*, Prentice Hall, New Jersey, 2000.
3. Edward Danakusumah, *Studi Pendahuluan Budidaya Ikan Kerapu dengan Sistem Air Deras*, Makalah yang dipresentasikan dalam Simposium Perikanan Indonesia II, Ujung Pandang, 1997.
4. Edward Danakusumah, *Teknologi Budidaya Ikan Kerapu*, Makalah yang dipresentasikan dalam Apresiasi Teknologi Budidaya Ikan Kerapu di Pantai Barat Sumatera Utara, Sibolga, 1997.
5. Katsuhiko Ogata, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, Diterjemahkan Oleh Ir. Edi Laksono, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.
6. Katsuhiko Ogata, *Modern Control Engineering*, Prentice Hall-Inc, New Jersey, 1997.
7. Moh. Ibnu Malik dan Anistardi, *Bereksperimen dengan Mikrokontroller 8031*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1997.
8. Muhammad Rashid, *Power Electronics Handbook*, Academic Press, San Diego, 2001.
9. Paulus Andi Nalwan, *Panduan Praktis Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 2003.
10. Ronald J. Tocci, *Digital Systems : Principle and Applications*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1991.
11. Suryo Krido Laksono, *Pengaturan Sudut Fasa Berbasis Logika Fuzzy Untuk Sistem Pengaturan Temperatur, Tugas Akhir*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2003.
12. William David Cooper, *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994.
13. \_\_\_\_\_, *Pembesaran Kerapu Macan (Epinephelus Fuscoguttatus) dan Kerapu Tikus (Cronileptes Altivelis) di Keramba Jaring Apung*, Juknis Seri No. 7, Departemen Kelautan dan Perikanan, Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya, Balai Budidaya Laut, Lampung, 2001.
14. \_\_\_\_\_, [www.AgribusinessOnline.com/Kerapu/Indeks.htm](http://www.AgribusinessOnline.com/Kerapu/Indeks.htm)
15. \_\_\_\_\_, [www.state.ky.us](http://www.state.ky.us)
16. \_\_\_\_\_, [www.ag.iastate.edu](http://www.ag.iastate.edu)
17. \_\_\_\_\_, [www.sensorex.com](http://www.sensorex.com)



**BAGUS HAKIKI TIRTOWIYADI**  
(L2F 305 298). Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, dengan pilihan konsentrasi Kontrol.

Disetujui Oleh,

Dosen Pembimbing II

Sumardi, ST, MT  
NIP. 132 125 670